

技術ノート

鋼橋製作における仮組立省略システムの構築

Shop Assembly Omission System in Steel Bridge Fabrication

越 後 滋*
Shigeru ECHIGO松 原 哲 朗**
Tetsuro MATSUBARA清 澤 孝 吉***
Kokichi KIYOSAWA戸 城 高 司****
Takashi TOSHIRO工 藤 裕*****
Yutaka KUDOH寺 本 耕 一*****
Koichi TERAMOTO

Now, new inspection method in manufacturing of steel bridge, replacing conventional temporary assembly method, is considered to be necessary. Consequently, authors, first of all, have been developing a temporary assembly omitted system which adopts temporary assembly simulation based on member measurement, as a new method replacing conventional temporary assembly, for linear I-beam bridge. In this paper, we intend to state the effectiveness of the omission of temporary assembly by showing the result of application to real bridge, explaining the outline of this system.

Key words: omission of temporary assembly, member measurement, temporary assembly simulation, adjustment of assembly form

1. まえがき

鋼橋の製作においては

- ① 各部材間の接合状態の確認
- ② 完成系の形状・寸法の確認
- ③ 付属物の取り付け状態の確認
- ④ 架設手順の確認

を目的として工場の屋外ヤードでの仮組立による検査が行われている。この仮組立は確実な検査方法ではあるが、工場設備・製作工程・労働環境の面から改善すべき問題を多く抱えている。このため、仮組立の省力化を行うための具体的な方法を検討する必要があると考えられる。

そこで、本システムにおいては、部材の誤差を一定値以内に管理して、そのもと組立形状を検証することで仮組立を行う場合と同等の精度を保証する点に主眼をおき、将来この仮組立について省略することを目指している。特に、当社における単純な形状のI桁橋での仮組立の場合では架設手順や寸法などの確認における問題はほとんど生じておらず、本システムの導入によって仮組立の省略は十分に可能であると考えられる。

本文ではこの鋼橋製作における仮組立省略システムの概要と適用例について報告する。

2. 仮組立省略システムの概要

本システムは図-1のように製作段階から各部材の誤差を早期発見することを基本とし、まず各製作作業で製作管理目標値を設け、そこでの誤差がある許容値（たとえば $\pm 5\text{mm}$ 程度）以内に収まっているかの判定を行い、もし、ここで許容値外（いわゆる誤作）と判定された場合には、その箇所における作り直しを実施する。許容値内であることを確認した後、計測データをもとに設計データを目標にして仮組立シミュレーションを行い、完成系の形状・寸法ならびに各部材間の接合状態の良否を確認する。その際に仮組立精度が満たされない場合は、現場継手部のボルト孔間距離などを調整することによって組立形状が調整される。そして、組立形状の調整結果ならびに添接板および下横構の加工情報（ボルト孔間距離の調整量）を算出する。

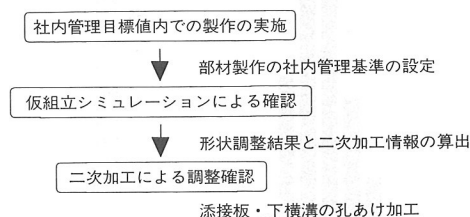


図-1 システムの基本

*川田工業㈱技術本部中央研究室室長 **川田工業㈱生産事業部四国工場システム開発課課長 ***川田工業㈱生産事業部富山工場生産技術課課長
****川田工業㈱生産事業部四国工場品質管理課係長 *****川田工業㈱生産事業部四国工場システム開発課 *****川田工業㈱技術本部中央研究室

3. 部材計測の概要

部材計測には製作過程での二次元計測とトータルステーションによる三次元計測とがあり、前者は部分的な寸法（フランジ幅、芯ずれなど）を、後者は部材端部や各ボルト孔の三次元相対位置を計測する。

このうち、トータルステーションによる三次元部材計測について以下に説明する。なお、当社においてはトータルステーションとして現在は株式会社ソキア製の三次元計測システム「MONMOS」を用いている。

(1) 計測試験結果

本試験は、当社が利用しているトータルステーションの計測信頼度の確認を目的としており、計測距離（5 mと10 m）、計測角度（0°～90°）、視準ターゲットの相対角度（45°～135°）および計測者の違いによる繰り返し精度（標準偏差）を求めた。図-2に試験結果を示すが、屋外計測の場合は最大視準誤差が0.7 mmで標準偏差が±0.2 mmであり、室内計測の場合は最大視準誤差が0.5 mmで標準偏差が±0.15 mmであり、鋼製巻尺に比較して十分な精度である。このことから計測精度は十分に信頼できるといえる。また、計測者の違いによる誤差はほとんどなく、トータルステーションを用いるにあたっての特別な訓練は必要ないことがわかった。

運用にあたっては、気象影響（温度、風、雨など）のない室内計測が望ましいと思われる。

(2) 主桁部材計測

主桁部材を計測する際、部材そのものは作業性を考慮して縦置きとし、主桁の自重による部材ねじれの影響を排除するため拘束治具などを用いる必要がある。また、ボルト孔に対してはその位置を正しく捉えるために改良された視準ターゲットを用いて部材計測を行う。

なお、写真-1では主桁部材を計測している状況を、写

真-2ではボルト孔位置を正しく捉えるために改良された視準ターゲットの形状とその取り付け状況を示す。

このようにして得られた三次元計測座標値から各寸法を算出して、これを設計寸法と比較することでその誤差がある許容値以内（たとえば±5 mm）であるか否かの判定を行い、作り直しの実施の有無を決定する。この結果を製作改善情報として利用し、部材品質の安定を図っていくものである。

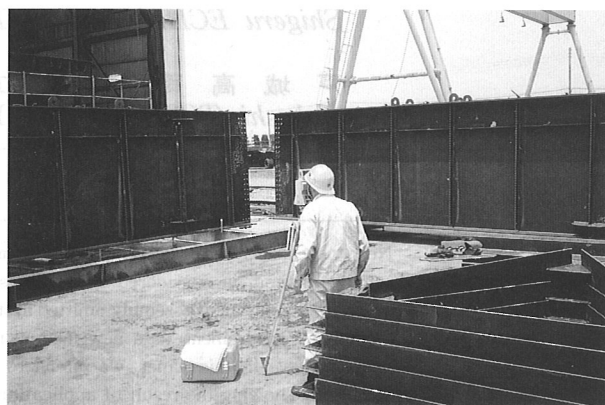


写真-1 主桁の計測風景

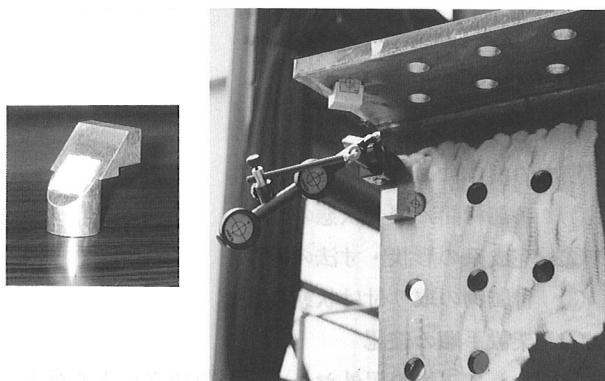


写真-2 ボルト孔用視準ターゲット

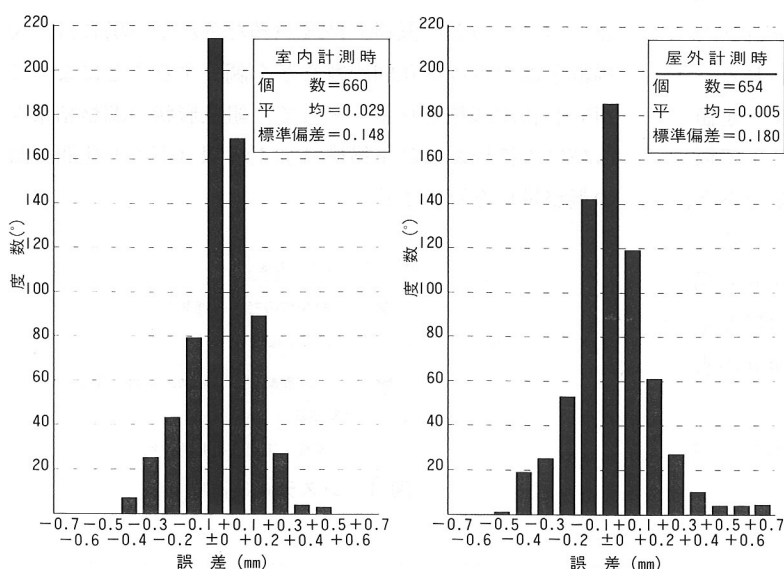


図-2 「MONMOS」計測試験結果

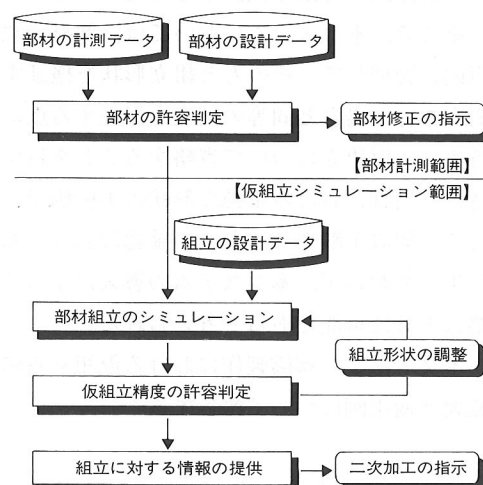


図-3 仮組立のシミュレーション手順

4. 仮組立シミュレーションの概要

仮組立シミュレーションは図-3に示される手順にて実施される。つまり、部材計測によって得られた各部材の三次元計測座標値と設計大座標値（橋梁原寸時に原寸システム「fabric」から作成されたデータで、シミュレーションでの組立形状の目標とする）をもとに仮組立シミュレーションを行い、完成系の形状・寸法ならびに各部材間の接合状態の良否を確認する。その際に仮組立精度が満たされない場合は、キャンバー、現場継手部のボルト孔間距離を仮組立精度が満たされるまで調整して組立形状を調整する。そして、最終的には実際の組立に対して以下の情報が提供される。

- ① 完成系における形状・寸法の調整結果
- ② 現場継手部のボルト孔間距離の調整量
- ③ 添接板や下横構の加工情報（孔あけ加工）

なお、シミュレーションでの調整を有効にするため、添接板・下横構はここでのボルト孔間距離をもとに二次加工（孔あけ加工）する。

5. 適用橋の概要

本システムの仮組立シミュレーションを実際に適用した工事の一覧を表-1に示す。

表-1 適用橋の概要

	形 式	支間(m)	重量(t)
A橋	単 純 合 成 I 桁	48	97
B橋	単 純 合 成 I 桁	47	157
C橋	単 純 合 成 I 桁	30	52
D橋	2 径間連続非合成 I 桁	38+38	218
E橋	6 径間連続非合成 I 桁	6 @ 45	520

6. シミュレーションによる組立形状の調整

仮組立シミュレーションでは、設計時の組立形状を目標にして計測データの部材連結部のボルト孔での孔ずれが生じないように組立形状を決めていくが、前項4の概要でも示したように仮組立精度を満たさない場合は組立形状を調整する必要がある。このとき、図-4のように各現場継手部のボルト孔間距離に対して L_u 、 L_b を与え、これを調整することでキャンバー、支間長、現場継手部の隙間などを調整していく。なお、最初に行う調整前のシミュレーションでは、この L_u 、 L_b に設計寸法を与えている。

ここで、表-1のC橋での仮組立シミュレーションにおける組立形状の調整結果を図-5～7に示す。これから、調整前の組立形状としては次の結果が得られた。

- ① 支間長誤差についてはほぼプラス傾向だが、一部マイナスの誤差が発生した（図-5の□印）。
- ② キャンバー誤差は全体的にマイナス傾向を示し、許容値を超えているものもあった（図-6の□印）。

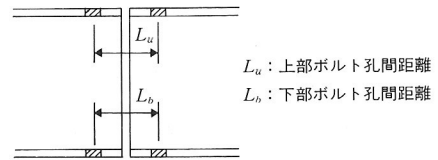


図-4 仮組立形状の調整箇所

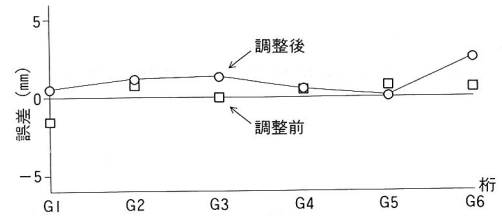


図-5 組立形状調整前後の支間長誤差（許容誤差±13mm）

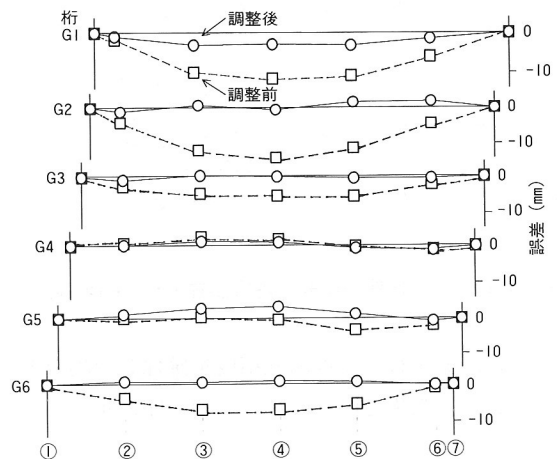
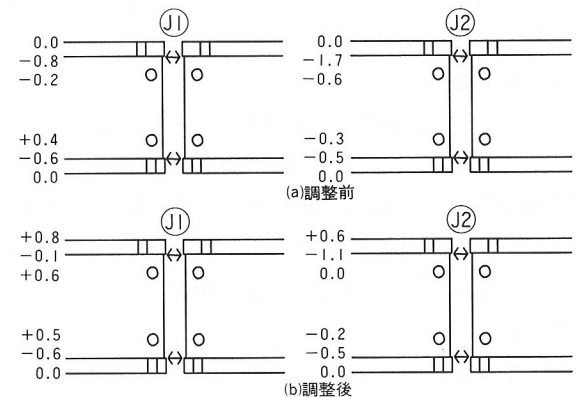


図-6 組立形状調整前後のキャンバー誤差（許容誤差-5～+10mm）



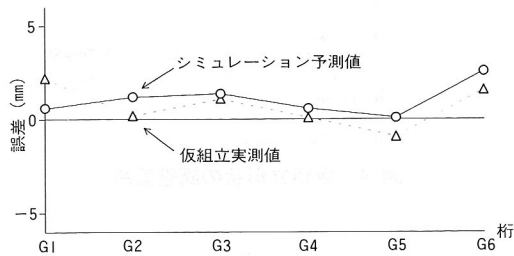
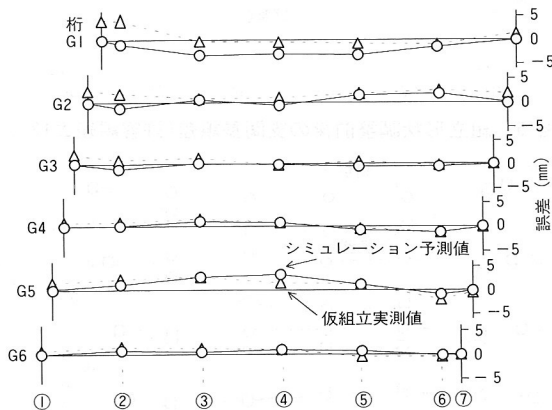
数値は上から順に、上フランジ継手間距離、上部隙間、ウェブ上側継手間距離、ウェブ下側継手間距離、下部隙間、下フランジ継手間距離

図-7 組立形状調整前後の現場継手誤差（許容誤差 5mm）（G3桁のJ1, J2の例）

- ③ 現場継手部の隙間は設計値10mmに対して許容誤差 5mm以内に収まっている（図-7の(a)）。

よって、本橋では次のように調整した。

- ① キャンバー誤差がマイナスに大きくなったG1～G3とG6について一部の現場継手部でボルト孔間距離 L_u （図-4）を設計寸法より約1mm大きな値にしてキャンバー誤差をプラス方向に調整した。
- ② 全主桁の桁そり形状が合うように各ジョイントでボルト孔間距離 L_u と L_b （図-4）を調整した。

図-8 支間長誤差の比較 (許容誤差 ± 13 mm)図-9 キャンバー誤差の比較 (許容誤差 $-5 \sim +10$ mm)

このように調整を行って仮組立精度を確保した場合のシミュレーション結果を図-5, 図-6の○印に示す。

7. 仮組立実測値との比較

ここでは表-1のC橋について, 実際の仮組立での出来形形状との比較結果について述べる。

(1) 支間長

図-8において支間長誤差の比較を示してある。これより, シミュレーション予測値と仮組立実測値は全体的に誤差傾向がよく一致し, 誤差についてもすべて ± 2.6 mm以下であり, 許容誤差 (± 13 mm) を十分満足している。また, 相互に誤差を比較すると最大相対差は 1.6 mm (G1)であった。

(2) キャンバー

図-9はキャンバー誤差の比較を示したものである。ここでも, シミュレーション予測値と仮組立実測値の誤差はいずれも -3.0 mm $\sim +4.0$ mmの範囲で傾向がよく一致しており, 最大相対差については 4.8 mm (G1の②)で平均すると相対差 -0.9 mmであった。

以上のことより, シミュレーション予測値と仮組立実測値とは大きな差異は見受けられない。また, 桁端の出入りなど仮組立精度の検査項目について調査した結果, すべてについてよく一致していた。

8. あとがき

今回は5橋にて仮組立シミュレーションと仮組立とで出来形形状を比較した。その結果, 表-2において支間長

表-2 シミュレーションと仮組立との相対差の平均値(mm)

		支間長	キャンバー
A橋	G1	-3.2	+1.1($\pm 0.0 \sim +2.7$)
	G2	-1.0	+0.6($-0.3 \sim +1.3$)
	G3	-1.7	+0.6($-0.5 \sim +2.0$)
B橋	G1	-1.6	+0.3($-1.6 \sim +2.0$)
	G2	-0.4	+0.1($-0.6 \sim +0.9$)
	G3	-2.8	+0.5($-0.2 \sim +1.4$)
	G4	+2.5	-0.1($-1.5 \sim +0.9$)
	G5	-2.9	-0.1($-1.6 \sim +1.0$)
C橋	G1	-1.6	-2.6($-4.8 \sim -0.5$)
	G2	+1.0	-1.4($-2.3 \sim -0.2$)
	G3	+0.3	-0.9($-2.0 \sim +0.1$)
	G4	+0.9	-0.3($-0.8 \sim +0.0$)
	G5	+1.0	+0.2($-1.2 \sim +1.8$)
	G6	+1.0	-0.2($-0.8 \sim +1.2$)
D橋	G1	-1.5, +1.1	+1.2($-1.0 \sim +2.6$)
	G2	+0.7, +5.0	+1.4($-0.7 \sim +2.7$)
	G3	-3.3, +9.3	+1.5($\pm 0.0 \sim +2.8$)
	G4	-1.8, +3.2	+0.9($\pm 0.0 \sim +2.8$)
	G5	-2.1, +5.1	+0.8($-0.7 \sim +2.9$)
	G6	-0.7, +4.8	+1.5($-0.2 \sim +3.0$)
E橋	G1	+0.6($-0.5 \sim +2.5$)	+0.5($-2.0 \sim +3.5$)
	G2	-0.5($-3.0 \sim +1.5$)	+0.3($-2.0 \sim +2.0$)
全平均(標準偏差)		+0.5(2.94)	+0.4(1.60)

注: ()内は上下限値を示す。

とキャンバーにおけるシミュレーション予測値と仮組立実測値との相対差からも示されるように, シミュレーションによって得られた結果は仮組立においても忠実に反映されていると考えられる。本仮組立省略システムは鋼橋製作における仮組立の省略を目指したものであり,

- ① 仮組立作業コスト (工数, 敷地, 機材, 安全対策など) の削減ができる
- ② 製作後すぐに塗装ができることより, 製作工程の短縮ならびに分割生産が可能となり, 生産能力の向上ならびに輸送工程に合わせたジャストインタイム生産が可能となる
- ③ 効率的な生産計画が可能となるため, 最小限の敷地 (仮置き, 塗装など) で生産が可能となるなどの導入効果も期待できる。

現在, 本システムは直線のI桁橋を対象に適用しているが, 今後は適用範囲を曲線橋, 箱桁橋ならびにアーチ・トラス形状の橋に拡張していく予定である。

最後に, 本システムの構築に際し, ご協力いただいた関係各位に対し, 心からお礼を申し上げます次第である。

参考文献

- 1) 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説 II 鋼橋編, 平成2年2月。
- 2) 越後・松原・清澤・大窪・工藤・寺本: 仮組立省略へ向けての製作手法の改善, 川田技報, Vol.13, 1994。